

# 基于普适计算环境的三维空间 RSSI 位置感知研究

魏烨嘉<sup>1</sup>, 王汝传<sup>1,2,3</sup>, 李伟伟<sup>1</sup>, 黄海平<sup>1,3</sup>, 孙力娟<sup>1,3</sup>

(1. 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003;

2. 中国科学院 研究生院 信息安全国家重点实验室, 北京 100039;

3. 南京邮电大学 计算机技术研究所, 江苏 南京 210003)

**摘 要:**文中对室内定位应用中可能的几种技术进行了分析与对比,指出了各自的缺陷与不足。通过分析指出无线传感器网络自身的特点较其他几种技术更好地适应了普适计算环境对于位置感知服务的需求。采用无线传感器节点,把基于RSSI技术的测距方法作为研究位置感知的主要途径,提出了可行的三维空间位置感知模型及其相应的误差修正方案,并进行了充分的实验验证,证明该模型可以定位出目标较为准确的位置,其中所提出的误差修正方案很好地校正了目标点的实际位置。

**关键词:**普适计算环境;无线传感器网络;RSSI;位置感知

**中图分类号:**TP39

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2010)04-0183-04

## Research on RSSI - Based Location - Aware in Three - Dimensional Space for Pervasive Computing Environment

WEI Ye-jia<sup>1</sup>, WANG Ru-chuan<sup>1,2,3</sup>, LI Wei-wei<sup>1</sup>, HUANG Hai-ping<sup>1,3</sup>, SUN Li-juan<sup>1,3</sup>

(1. College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2. State Key Laboratory of Information Security, Graduate School of Chinese

Academy of Sciences, Beijing 100039, China;

3. Institute of Computer Technology, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Make comparison of several potential technologies in the field of indoor location and figure out the defect of each technology. The features of wireless sensor network well fit for the demands of location servers in pervasive computing environment. So chooses the wireless sensor network nodes, and uses the distance measurement that based on the RSSI technology as the main method of researching the location - aware in three - dimensional space. Meanwhile, describes a possible location - aware model in three - dimensional space and the error correction program of it. The result of experiment indicates the model performs well. The error correction program does really amends the location of target point.

**Key words:** pervasive computing environment; wireless sensor network; received signal strength indicator; location - aware

收稿日期:2009-08-04;修回日期:2009-11-21

**基金项目:**国家自然科学基金(609731391, 60773041);江苏省自然科学基金(BK2008451);国家高科技 863 项目(2007AA01Z404, 2007AA01Z478);2006 江苏省软件专项;现代通信国家重点实验室基金(9140C1105040805);国家和江苏省博士后基金(0801019C, 20090451240, 20090451241);江苏高校科技创新计划项目(CX08B-085Z, CX08B-086Z);江苏省六大高峰人才项目(2008118)

**作者简介:**魏烨嘉(1985-),男,浙江嘉善人,硕士研究生,研究方向为无线传感器网络、计算机软件在通信中的应用;王汝传,教授,博士生导师,研究方向是计算机软件、计算机网络、信息安全、移动代理和虚拟现实技术等。

## 0 引言

20 世纪 90 年代后期普适计算<sup>[1]</sup>开始受到人们的普遍关注,普适计算设备捕获用户所处的上下文环境<sup>[2]</sup>,根据用户的历史行为及当前的上下文情况推断出可能的各种需要,结合普适计算的基本条件,这就给基于位置的服务提供了广阔的应用空间。而无线传感器网络自身的特性也使得在 WSN 中位置感知的实现有别于传统的网络。

现有的诸多定位技术中全球定位系统(GPS)由于自身造价高,体积以及功耗大,使得其在低功耗低成本

的微型无线传感器节点上难以实现;红外线无源定位技术<sup>[3]</sup>中由于红外传感器是被动工作的,无法满足 WSN 中无线传感器节点的自组织的主动工作模式需求,而且易被日光干扰以及短距离传播等特性也无法在 WSN 中很好地满足分布式协作处理的需求;超声波传感器利用到达时间(TOA)<sup>[4]</sup>来获取距离信息,为了提高精度往往使用超声波收发器阵列来实现,该方法也无法满足无线传感器节点硬件设计的微型化需求,而且大多超声波定位感知技术都是基于无线局域网(WLAN),不适合现有的无线传感器网络。文中选用无线传感器网络节点,利用无线信号的强度来实现测距方法,并给出了一种在三维空间中可行的定位模型以及相应的误差修正方案。

## 1 基于普适计算环境的位置感知

### 1.1 基于 RSSI 的位置感知方法

基于距离的位置感知方法常用的技术之一为 RSSI 测距技术。文献[5,6]对 RSSI 位置感知技术进行了详细的论述并给出了实际的仿真效果,对该文有一定的参考价值。

### 1.2 位置感知系统建模与技术需求

文中提出的位置感知系统由信标节点和待测节点组成,各个节点上都集成有无线射频通信芯片。信标节点是位于固定位置的参考节点,它们的坐标是已知的,并由某一个信标节点充当实际三维空间中的坐标原点。待测节点从信标节点处接收位置测量数据信号,从中获取出信标节点位置坐标处相应的 RSSI 值,再根据 RSSI 理论公式由节点处理器计算出与接收到的 RSSI 值相对应的实际距离。

在诸多无线射频通信芯片中,CC2430/2431 表现出良好的通信效果。在芯片的输入输出中读取数据时,每个数据包的最后第二个字节就包含了 RSSI 的数值<sup>[7,8]</sup>,其理论公式为:

$$\text{RSSI} = -(10n \times \lg d + A) \quad (1)$$

其中的参数如表 1 所示。

表 1 CC2430/2431 定位参数

参数	数值下限	数值上限	含义说明
RSSI	-95	-40	节点接收到的无线信号强度大小,单位为 dBm
A	-50	-30	与发射端距离 1 米处的 RSSI 值,单位为 dBm
n	1	8	传播路径衰减指数

参数 A 与 n 用来描述网络的操作环境,A 被定义为用 dBm 表示的距离信号发射节点 1 米处接收到的信号强度。取其精度为小数点后的两位。

参数 n 被定义为路径损失指数,它表示信号的能

量随发送节点到接收节点间距离的增加而衰减的速率。d 为无线信号发送节点与接收节点之间的距离,计算时通常先实际地计算出某类特定环境下的 n 值,再代入理论公式后结合参数 A 计算出 d 的数值。在相同环境下 n 的数值大小趋于稳定。

在该位置感知系统中,想要得到待测节点的一个具体三维空间坐标值需要多个分布于不同空间位置的信标节点之间互相协作,共同完成待测节点的位置感知。

其定位测量的前提步骤如下:

(1) 测量与发射端距离 1 米处的 RSSI 值,即 A 的数值;

此步骤用于确定理论公式(1)中 A 的数值,如表 1 中所示其表示的含义为距离发射端节点 1 米处的 RSSI 值,单位为 dBm。在实际测量中,固定某个信标节点并将其作为发射端节点,将待测节点置于距离信标节点半径 1m 处的圆周上任意位置,测量读取该位置上的 RSSI 值,将其作为 A 的数值。为了减少测量误差,采用多次测量 A 的数值并取平均值的方法。

(2) 利用 RSSI 理论公式,测量计算 n 的数值;

在步骤(1)中已经确定了 A 的数值记为 a,并取 d 的某一个实际值  $d_k$ ,将 a 与  $d_k$  代入公式(1),并结合实际测量得到的无线信号强度的数值  $\text{rss}_k$ ,计算得出该种情况下 n 的数值。理论上 n 为测量环境下趋于稳定的一个常量,但由于实际测量误差的存在,n 的数值并不一定十分稳定,如公式(2)所示:

$$n_k = -(\text{rss}_k + a)/10 \times \lg d_k \quad (2)$$

根据实际的信号发送节点与信号接收节点间距,取不同的  $d_k(k = 1, 2, 3, \dots)$ ,测出各个  $d_k$  所对应的  $\text{rss}_k(k = 1, 2, 3, \dots)$ ,将求得的  $n_k(1, 2, 3, \dots)$  均值处理后得出 n 的数值。

(3) 基于已经求得的 A 与 n,实际计算节点间距。

在上述两个步骤中已经求得了 A 与 n 的数值,将其代入公式(1)后可以得到该种实验环境下的距离与 RSSI 值的理论公式,此时未知量还剩 RSSI 以及发送与接收节点之间的距离 d,而 d 即为待测的未知距离。读出发送节点数据包中的 RSSI 值,并根据实际测得的 RSSI 数值计算出实际收发节点间距 d。为了提高测量的精确度,对于数据 d 仍旧采用多次测量取均值的方法。

### 1.3 利用位置感知模型计算待测节点的空间坐标

以图 1 中的 O 点作为坐标原点,以 OB 为 X 轴,OA 为 Y 轴,OG 为 Z 轴建立空间直角坐标系,如图 1 所示。

图 1 中,长方体 OH 的各边边长均已知。在 O、A、

B、G 点设置有信标节点,而 E 为待测节点所在位置, D 为 E 在平面 OACB 上的投影, U 为 E 在平面 OGIB 上的投影, V 为 E 在平面 OGFA 上的投影。先利用上小节中所涉及的方法步骤测出待测节点 E 到信标节点 O、A、B、G 的距离  $|OE|$ 、 $|AE|$ 、 $|BE|$ 、 $|GE|$ , 然后结合空间几何求解出  $|VE|$ 、 $|UE|$  与  $|DE|$ , 即为待测节点 E 在空间直角坐标系的坐标位置。

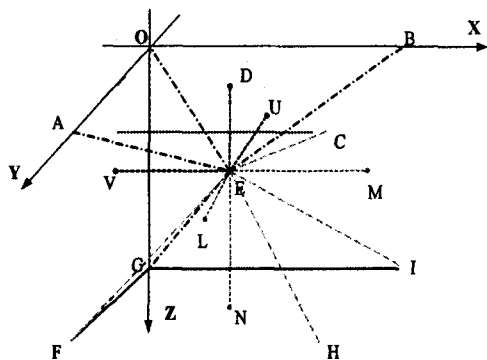


图1 基于位置感知模型的空间直角坐标系

## 2 位置感知模型误差修正

由于 RSSI 测距技术本身存在一定的不稳定性,为了进一步精确位置信息,提出了比例修正法与均值修正法。图1中 D 为空间长方体 OH 内的任意一点 E 在平面 OACB 上的投影, L、M、N、U、V 分别为 E 点在平面 ACHF、平面 CBIH、平面 GFHI、平面 OBIG 以及平面 OAFG 上的投影,则 D、E、N 三点共线, V、E、M 三点共线, U、E、L 三点共线。

在上一小节中利用三角形 OBE 与 VE 的边角关系求得 VE 的长度值,利用三角形 OAE 与 UE 的边角关系求得 UE 的长度值,利用三角形 OGE 与 DE 的边角关系求得 DE 的长度值。由同理,根据三角形 ACE 与 ME 的边角关系可以求出 ME 的长度值,根据三角形 BCE 与 LE 的边角关系可以求出 LE 的长度值,由三角形 AFE 与 NE 的边角关系可以求出 NE 的长度值。

根据上述的方法可以求得  $|ME|$ 、 $|LE|$  与  $|NE|$ 。记  $|VE|/|ME| = k_1$ ,  $|UE|/|LE| = k_2$ ,  $|DE|/|NE| = k_3$ , 且 E 点在空间直角坐标系中的坐标值为  $E(x, y, z)$ 。公式(3)描述了比例修正法的主要思想。

$$\begin{cases} x = [k_1/(k_1 + 1)] \times |OB| \\ y = [k_2/(k_2 + 1)] \times |OA| \\ z = [k_3/(k_3 + 1)] \times |OG| \end{cases} \quad (3)$$

由公式(3)得到的数值即为修正后的 E 点在 X 轴、Y 轴与 Z 轴上的坐标值。上述修正方法主要思想是将由 RSSI 测距技术本身不稳定性而造成的测距误差等比例地转移到固定长度的边长上,从而减小可能的

测量误差。

在比例修正法中 VE、ME 的长度求解用到了三角形 BOE 与三角形 ACE, UE 与 LE 的长度通过三角形 AOE 与三角形 BCE 求解得出,而 DE 与 NE 的长度则通过三角形 GOE 与三角形 FAE,在均值修正法中需要再次计算出 E 点到空间几何体各个表明的距离,主要思想为:

a. 通过三角形 IGE 与三角形 FHE 求解出 VE 与 ME 的长度值,通过三角形 FEG 与三角形 HEI 求解出 UE 与 LE 的长度值,再由三角形 BEI 与三角形 CEH 求解出 DE 与 NE 的长度;

b. 利用比例修正法的思想再次求解出 E 点的坐标值  $E'(x', y', z')$ ;

c. 对  $E(x, y, z)$  与  $E'(x', y', z')$  的各个相对应的坐标值进行均值处理后得到  $\bar{E}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$  作为最终 E 点在空间直角坐标系中的坐标值。

## 3 实验测试与效果分析

### 3.1 实验内容

文中是基于 WSN 的实验研究,采用的通信模块是 HFZ-CC2430EM-22 模块,该模块使用的主要芯片为德州仪器(TI) ZigBee 射频芯片 CC2430-F128。

在实验中,各个通信模块放置于房间各个角落,并通过设置节点的 ID 号以区分接收到数据包所属的信源节点,待测节点通过编程板与 CC2430 仿真器相连并在 PC 终端读取数据包的内容,在每次读到数据包的最后第二个字节即为 RSSI 域。信源节点编号与信宿节点编号用以区分当前收到的数据包所属的信源节点,该实验中信宿节点即为待测节点,其余各个信标节点均为信源节点。选用长 564 厘米,宽 474 厘米,高 315 厘米的空旷房间作为实验环境,定位公式推导过程如下:

(1) 测量与发射端距离 1 米处的 RSSI 值,即 A 的数值;

在实验环境内先固定信标节点,实际多次测得距离信标节点 100 厘米处接收到的无线信号强度值,取连续的 20 组数据,排除极大值与极小值对采样结果的影响,将剩余各组数据取平均值,得出距离信标节点一米处的 RSSI 均值为 -40.39,即 A 的数值为 -40.39。

(2) 利用 RSSI 理论公式,测量计算 n 的数值;

取  $d_1 = 200$ ,  $d_2 = 300$ ,  $d_3 = 400$ ,  $d_4 = 500$ , 各个  $d_k$  对应的  $rss_{ik}$  值的求解采用多次测量取平均值的方法,与过程(1)所述方法相同。

结合过程(1)中已经测得 A 的数值 -40.39,计算结果如表 2 所示。

将计算得到的各个  $n_k$  的数值均值处理后得到  $n$  的数值为 3.70(小数点后保留两位)。

(3) 基于已经求得的  $A = -40.39$  与  $n = 3.70$ , 推导出该实验环境下的理论公式:

$$RSSI = -(10 \times 3.70 \times \lg d - 40.39) \quad (4)$$

### 3.2 实验效果分析

在求解出理论公式(4)后就可以在该实验环境内进行实际的空间坐标定位了,取不同位置的四个点,在实际测量过程中 RSSI 的数值都经过多次测量并均值处理后得到的,定位效果对比如表 3 所示。

表 2 不同信源信宿节点间距所测得的 RSSI 值

$d_k$ (CM)	$rssi_k$ 测量值 (dBm)	$n_k = -(rssi_k + a)/10 \times \lg d_k$
100	-40.39	/
200	-44.61	3.69
300	-52.11	3.73
400	-55.56	3.69
500	-59.72	3.70

表 3 空间各点位置感知效果及误差修正效果

坐标点	实际位置 (x, y, z)	误差修正 前位置 (x, y, z)	误差修正 后位置 (x, y, z)	修正前 距离差	修正后 距离差
E	105	134.28	112.35	42.37	16.17
	384	391.96	375.79		
	230	259.57	241.83		
Q	192	195.79	200.91	15.69	9.93
	292	289.02	293.71		
	230	215.07	225.96		
T	192	204.35	195.44	14.73	4.79
	292	299.93	294.66		
	140	141.22	142.01		
R	192	195.29	189.32	6.34	8.96
	200	202.11	207.19		
	220	215.01	224.62		
P	285	291.65	294.16	23.35	14.13
	200	195.10	199.58		
	205	183.16	194.25		

分析表 3 的实测数据,在实验环境下的五个空间坐标点的位置精度经过误差修正后有较为明显的改善。位于实验环境边缘的坐标点 E 与 P 的位置感知效果较差,误差修正效果较为明显;位于实验环境相对中央处的其余三个点 Q、T、R 位置感知效果较好,但误差修正效果不是十分明显。各个点在空间坐标系中的位置感知效果与误差修正效果对照如图 2 所示。

通过对照可以看出,总体上在三维空间模型中各个坐标点位置的感知效果良好,并且误差修正方法能够较好地修整空间坐标点的位置值,使得位置感知的效果有明显改善。

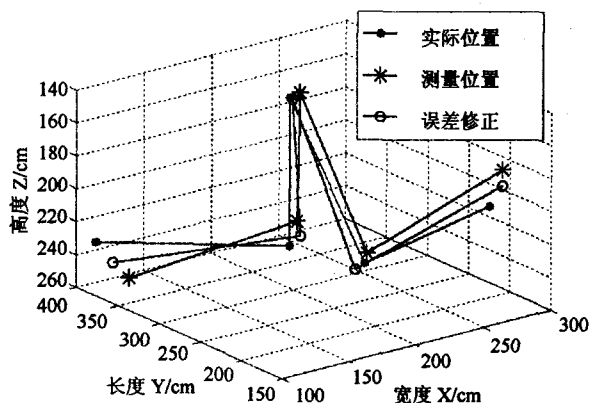


图 2 空间位置感知效果对照

## 4 结束语

无线传感器网络的 RSSI 测距技术在室内定位中有较大的研究空间,其自身低能耗、低成本、易维护等特点很好地适应了普适计算环境对于位置感知服务的需求,在实际应用领域中也有较大的挖掘空间。文中提出了一种可行的室内三维空间位置感知模型及其误差修正方案,并基于 RSSI 测距技术对该方案进行了实验验证,实验效果表现良好。

目前只是对三维空间内静止的坐标点进行位置感知,对于三维空间内坐标点的移动定位还有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 刘晓红. 浅析普适计算的现状与发展[J]. 广西医科大学学报, 2008(S1): 99-100.
- [2] 李彩霞, 曹奇英. 普适计算中的上下文及纯方位定位模型[J]. 计算机工程与设计, 2005, 26(1): 50-52.
- [3] 侯娜, 黄道君. 红外无源定位技术研究[J]. 电子对抗技术, 2002, 17(4): 12-15.
- [4] 孙利民, 李建中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 59-61.
- [5] Dogandzic A, Amran P P. Signal-strength based localization in wireless fading channels[C]//Institute of Electrical and Electronics Engineers Computer Society Signals, Systems and Computers. Pacific Grove, CA, United states: [s. n.], 2004: 2160-2164.
- [6] Whitehouse K, Karlof C, Culler D. Radio Signal Strength Localization without Dense, Pre-deploy Anchor Nodes[R]. Berkeley: Computer Science Department, University of California, 2004.
- [7] Texas Instruments Incorporated. CC2431 PRELIMINARY Data Sheet[M]. Dallas, Texas: [s. n.], 2006.
- [8] Texas Instruments Incorporated. CC2430 PRELIMINARY Data Sheet[M]. Dallas, Texas: [s. n.], 2006.